

CLIMAT

■ **LE CONTEXTE** ■ Depuis quelques années, le méthane, un gaz présent dans l'atmosphère, a aussi envahi les publications scientifiques. C'est un gaz à effet de serre dont les émissions peuvent influencer le climat. Mais elles peuvent aussi être

affectées par les modifications climatiques. Les spécialistes ont pris récemment la mesure du vaste potentiel d'interactions que cela représente et travaillent aujourd'hui à les décrypter. De quoi dépend la variabilité du méthane ? Quelles

peuvent en être les conséquences ? Ce gaz a-t-il joué un rôle dans les grands bouleversements du passé ? Autant de questions qui sont au cœur des recherches actuelles sur le cycle plus général du carbone.

La fulgurante ascension du méthane

PAR 450 MÈTRES DE FOND DANS LE GOLFE DU MEXIQUE, un dépôt d'hydrates de méthane sous une fine couche de sédiments laisse s'échapper un filet de bulles de gaz : quelle est l'étendue à l'échelle du Globe de ce type de réservoirs ?

© IAN R. MACDONALD/TEXAS A&M UNIVERSITY-CORPUS CHRISTI

Quand on évoque le réchauffement de la planète, on pense immédiatement « effet de serre » et augmentation du dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Sans rien ôter au rôle de ce dernier, un autre gaz tient une place importante sur l'échiquier climatique, le méthane. Longtemps négligé, il est aujourd'hui sur le devant de la scène.

Le méthane « n'a aucun effet direct sur le climat ou la biosphère et est donc estimé sans importance »: telle était, en 1971, l'une des conclusions de la première expertise sur une éventuelle modification du climat par l'homme. Le mot « méthane » n'apparaît même pas dans l'index de *Climate Past, Present and Future*, le livre de référence en climatologie à l'époque [1]. Aujourd'hui, la situation a profondément changé. Le dernier rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, publié en 2001, consacre de multiples chapitres à cette modeste molécule: les zones où elle est émise et celles où elle est absorbée (ses sources et ses puits) y sont analysées au peigne fin, tout comme sa chimie, son histoire et son futur [2]. Chaque mois, de nouveaux articles traitent des bouleversements climatiques du passé liés aux variations de méthane, ou encore des bénéfices potentiels pour le climat d'une gestion drastique de ses émissions. De nouvelles hypothèses, en particulier sur le rôle des hydrates de méthane, émergent, plaçant le méthane et ses variations au cœur du débat sur les changements rapides du climat.

À quoi doit-on ce retournement? Comment le méthane est-il passé du statut de gaz insignifiant à celui de pièce maîtresse sur l'échiquier climatique? Comme bien souvent en science, c'est la conjonction d'un ensemble d'éléments qui, seulement mis bout à bout, finissent par établir des liens et imposer un nouveau schéma.

Revenons d'abord sur quelques notions fondamentales. Le méthane est une molécule très simple: un atome de carbone entouré de quatre atomes d'hydrogène, de formule chimique CH_4 . Elle est fabriquée en majeure partie par des bactéries qui se nourrissent de matière organique dans des milieux pauvres en oxygène et humides, tels que les sédiments, les rizières, les marais, mais aussi les décharges d'ordures et le tube digestif des animaux. Une partie de ce méthane peut être piégée (il constitue 90% du gaz naturel exploité), tandis qu'une autre gagne l'atmosphère.

Dès 1948, ce gaz a été détecté dans l'atmosphère. Pourtant, il a fallu attendre trois découvertes clés pour entrevoir son

rôle dans le climat. La première date de 1976: Wei-Chyung Wang et ses collègues du Goddard Institute for Space Studies (GISS) de la NASA ont alors montré que le méthane atmosphérique était un gaz à effet de serre important, c'est-à-dire qu'il absorbe certaines fréquences du rayonnement infrarouge émis par la Terre, qui autrement s'échapperaient dans l'espace [3]. Le méthane, avec les autres gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère (vapeur d'eau, dioxyde de carbone et oxyde nitreux), élève ainsi la température de surface de la Terre de quelque 30°C.

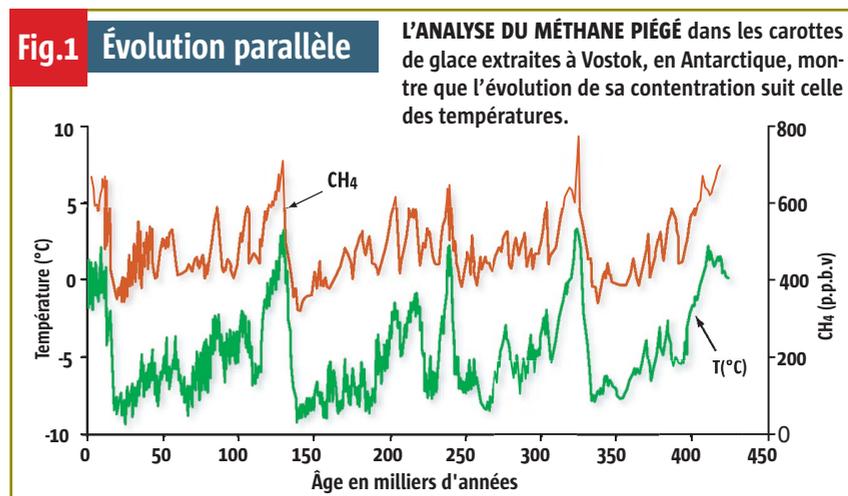
Le deuxième résultat clé est venu de l'examen des carottes de quelques kilomètres de long extraites dans les glaces du Groenland et d'Antarctique par des équipes européennes et américaines, à la fin des années quatre-vingt. Leur analyse a montré avec un détail sans précédent les changements climatiques à l'échelle des siècles, des millénaires et des centaines de milliers d'années [4]. Le dernier record en date, réalisé dans le cadre du programme Epica (European Project for Ice Coring in Antarctica), vient d'enrichir la collection de ces archives climatiques de plusieurs centaines de milliers d'années: on peut désormais reconstituer l'évolution du climat des 740 000 dernières années [5].

Bulles piégées

Outre la température révélée par l'analyse des isotopes* de l'eau, les glaciologues ont aussi reconstitué la composition chimique de l'atmosphère. Les spécialistes comme Jérôme Chappellaz, du laboratoire de glaciologie de Grenoble, ont en effet réussi à isoler les gaz piégés à l'intérieur de minuscules bulles préservées dans la glace, et à retracer l'évolution de leurs concentrations à l'échelle de milliers d'années [fig.1]. À plus court terme, ils ont aussi montré une rapide augmentation des concentrations de dioxyde de carbone (CO_2) et de méthane (CH_4) depuis la période préindustrielle, c'est-à-dire à partir de 1850 environ. En fait, les teneurs en méthane ont plus que doublé au cours des 150 dernières années: elles sont passées de 700 à 1 750 parties par milliard. Sa contribution ⇒

Gavin Schmidt, chercheur au Goddard Institute for Space Studies de la NASA et au Center for Climate Systems Research, à l'université Columbia à New York. gschmidt@giss.nasa.gov

* **Les isotopes** d'un élément chimique ont tous le même nombre de protons mais se distinguent par leur nombre de neutrons.



CLIMAT



© KEVIN FLEMING/CORBIS

LE BÉTAIL EST À L'ORIGINE d'environ 15 % des émissions de méthane. L'appareil digestif des animaux offre des conditions idéales pour les bactéries qui fabriquent ce gaz.

* **Le permafrost** est un sol qui reste gelé plus de deux années de suite.

⇒ à l'amplification de l'effet de serre correspond à la moitié environ de celle provoquée par l'augmentation des teneurs en dioxyde de carbone. Ces dernières sont bien plus fortes en valeur absolue, puisqu'elles sont passées de 280 à 380 parties par million au cours de la même période. Mais la molécule de méthane est trente fois plus absorbante que celle de dioxyde de carbone.

Les variations de concentration du méthane au cours du siècle dernier semblent être principalement dues à l'augmentation des émissions liées aux activités humaines : développement de l'exploitation du gaz naturel (plus de fuites des pipelines et des mines), multiplication des décharges de déchets, accroissement des zones agricoles irriguées (en particulier des rizières, essentiellement des zones humides artificielles) et augmentation du bétail émetteur de méthane, entre autres [fig. 2]. Si l'on remonte dans le temps, durant la dernière période glaciaire, et particulièrement dans sa partie la plus chahutée (juste avant le début de l'actuel épisode interglaciaire il y a quelque 11 500 ans), les oscillations du méthane ont suivi pas à pas celles du climat. C'est particulièrement net lors de l'épisode de refroidissement du Dryas Récent, un brusque retour aux conditions de glaciation, il y a 12 500 ans.

Sensible au climat

La troisième pièce importante du puzzle est le fruit d'une investigation menée par Jeff Severinghaus et ses collègues de la Scripps Institution of Oceanography ces dernières années [6]. Dotés d'une nouvelle technique d'analyse des isotopes de l'azote – qui varie en fonction de la rapidité des changements de température –, ils ont précisé les épisodes de réchauffement. Ils ont ainsi découvert que, lors d'un réchauffement, le méthane augmente aussi, mais avec un léger retard sur la température. Ainsi, non seulement ce gaz agit sur le climat par effet de serre, mais il peut à son tour être affecté par un changement climatique. Et ce à des échelles de temps très dif-

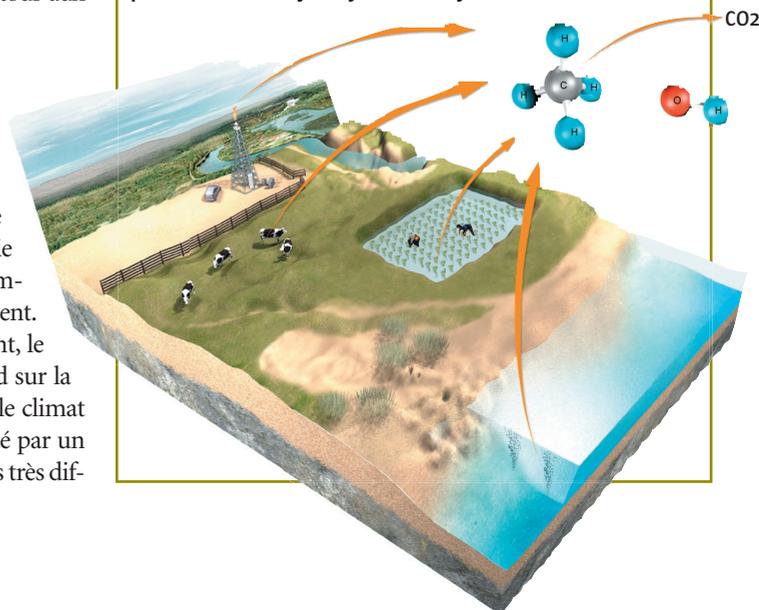
férentes. On l'a vu, les émissions de méthane dépendent de la quantité de matière organique décomposée dans des conditions très humides. Ainsi, une augmentation de la quantité d'eau dans une zone humide donnée, liée par exemple à des précipitations plus fortes, ou une élévation des températures peuvent accroître les émissions en très peu de temps. Sur de plus longues périodes, les zones humides et les grands deltas évoluent au gré du niveau des mers et des modifications à grande échelle du régime des précipitations. On estime notamment qu'entre le dernier maximum glaciaire, il y a 20 000 ans, et le XIX^e siècle les émissions naturelles ont doublé. Et aux hautes latitudes, le gel et le dégel dans les régions à permafrost* peuvent changer sensiblement l'étendue des tourbières, et, par conséquent, les émissions de méthane. En Suède, par exemple, dans une région ayant dégelé entre 1970 et 2000, l'augmentation est estimée entre 20 et 60% [7].

Ces trois facettes du méthane (rôle dans l'effet de serre, variations des émissions et impact des changements climatiques sur ces émissions) laissent entrevoir un vaste potentiel d'interactions et de rétroactions. Le problème devient alors de comprendre ce qui contrôle vraiment la variabilité du méthane, et quelle peut être l'étendue des conséquences de cette variabilité. Pour ce faire, une bonne connaissance du cycle de ce gaz est nécessaire : les spécialistes ont donc commencé à l'étudier en détail.

Les principales sources du méthane ont été présentées, qu'en est-il des « puits » ? Une fois émis dans l'atmosphère que lui arrive-t-il ? La réponse est à chercher dans les processus chimiques à l'œuvre dans la partie la plus basse de l'atmosphère. Dans la troposphère, les 10 à 12 premiers

Fig.2 L'itinéraire du gaz

LE MÉTHANE EST PRODUIT DANS LES ZONES HUMIDES, où l'oxygène est peu abondant (marais, deltas et rizières). Il peut également s'échapper des mines de charbon, ou lors de l'exploitation de gaz naturel, ou encore être émis par le bétail et les déchetteries. Dans l'atmosphère, il y est peu à peu dégradé par des radicaux hydroxyles en dioxyde de carbone et en eau.





© CLEMENS EMMER/LAIF-REA

LE DÉVELOPPEMENT DE LA CULTURE DU RIZ a participé à l'augmentation du méthane dans l'atmosphère. On estime que les rizières, souvent irriguées, comme ici en Indonésie, émettent 10% des teneurs actuelles.

kilomètres d'altitude, les cycles principaux sont surtout contrôlés par la présence des radicaux hydroxyles, de formule chimique OH, appelés plus familièrement les « détergents » atmosphériques. Presque tous les composés émis peuvent être oxydés par ces radicaux en dioxyde de carbone et en eau. Le méthane n'est pas une exception. En moyenne, une molécule de ce gaz passe environ huit à neuf ans dans la troposphère avant d'être ainsi oxydée. Une durée de vie assez longue comparée à celle de la plupart des molécules, mais suffisamment courte pour que les variations d'une année sur l'autre soient importantes. Environ 10% de ce méthane monte dans la stratosphère, entre 15 et 50 kilomètres d'altitude, où il est également oxydé, mais par une autre série de réactions. Le point essentiel à retenir est que, dans la stratosphère très sèche, l'eau produite par l'oxydation du méthane représente une part importante de l'eau totale présente à ces altitudes. Et la vapeur d'eau stratosphérique est aussi un gaz à effet de serre ! Cet effet indirect renforce d'environ 15% l'impact climatique des variations du méthane.

Les influences potentielles du climat sur ce puits de méthane sont nombreuses. Par exemple, quand le climat se réchauffe ou refroidit, la quantité d'eau dans l'air varie et modifie à son tour la quantité de radicaux hydroxyles. Plus il fait chaud, plus ces derniers sont nombreux, et plus le puits est efficace : sans autre phénomène, les teneurs en méthane devraient chuter. D'autres composés comme le monoxyde de carbone dégagé lors de feux de forêt, par exemple, ou des hydrocarbures rejetés par la végétation, peuvent entrer en concurrence avec les radicaux hydroxyles et modifier d'autant les teneurs en méthane.

En plus, celles-ci ont aussi elles-mêmes une rétroaction positive sur la durée de vie du gaz : plus il y en a, moins il reste de radicaux hydroxyles pour le dégrader. Il persiste donc plus longtemps dans l'atmosphère – cela ne devient significatif que pour des variations d'émissions très fortes.

Réservoir méconnu

Depuis quelques années, un réservoir encore très mal connu focalise toutes les attentions. Il pourrait en effet peser lourd dans l'équilibre climatique : il s'agit des hydrates de méthane présents dans les océans. Dans ces composés, appelés clathrates, les molécules d'eau organisées en sortes de cages sont capables de piéger du méthane sous forme solide. C'est pour cette raison qu'on parle d'hydrates de méthane. Les compagnies pétrolières s'y intéressent aussi, car ils pourraient représenter une portion non négligeable des réserves totales de carbone fossile [8]. Selon les meilleures estimations actuelles, 500 à 2000 gigatonnes (Gt) de carbone – d'autres allant jusqu'à 10000 Gt – seraient ainsi stockées, soit entre 5 et 20% des réserves totales estimées. Ces clathrates se localisent principalement sur les marges continentales, où l'eau est relativement froide, la pression assez élevée et la matière organique suffisante pour satisfaire les bactéries productrices de méthane. Mais, surtout, ils peuvent être extrêmement instables si la température augmente ou si la pression diminue ; ce qui peut arriver lors de changements climatiques, de soulèvements tectoniques ou de glissements de terrain sous-marins.

Leur rôle dans les changements climatiques n'a commencé à être envisagé qu'assez récemment, au début ➔

[1] H. Lamb, *Climate Past, Present and Future*, London Methuen, 1972.

[2] J.T. Houghton *et al.* (dir.), *Climate Change : the Scientific Basis*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, 2001.

[3] W.-C. Wang, *Science*, 194, 685, 1976.

[4] J.R. Petit *et al.*, *Nature*, 399, 429, 1999.

[5] Epica Community Members, *Nature*, 429, 623, 2004.

[6] J.P. Severinghaus et E.J. Brook, *Science*, 286, 930, 1989.

[7] T.R. Christensen *et al.*, *Geophys. Res. Lett.*, 31, 104501, doi:10.1029/2003GL018680, 2004.

[8] *La Recherche*, avril 2004, p. 14.

⇒ des années quatre-vingt-dix. Le premier indice est venu de données inexplicables concernant la transition entre le Paléocène et l'Éocène, il y a 55 millions d'années. Jim Kennett, de la Scripps Institute of Oceanography, et ses collègues avaient remarqué qu'à cette époque les rapports isotopiques du carbone avaient changé très rapidement, en moins d'un millénaire. Que ce soit dans les océans profonds, sur Terre, aux pôles ou aux tropiques, l'isotope le plus léger, le carbone 12, a brusquement été favorisé aux dépens du carbone 13. Au même moment, la planète a connu un réchauffement tout aussi intense et brutal: la température moyenne s'est élevée d'environ 3 à 4 degrés, et plus encore aux hautes latitudes. En 1995, Jerry Dickens, de l'université Rice, a proposé une première hypothèse. Selon lui, la seule perturbation du cycle global du carbone imaginable pour expliquer ces observations était un apport massif de carbone léger jusque-là stocké sous forme de clathrates, dont on savait qu'ils étaient particulièrement riches en carbone 12. Aucun autre événement ne pouvait être à la fois si rapide et capable de relâcher une telle quantité de carbone léger. Étant donné que le méthane, tout comme le CO₂ (le produit de son oxydation), est un gaz à effet de serre, cette émission massive pouvait aussi expliquer le réchauffement lui-même.

Dans ce sillage, d'autres travaux, comme ceux que j'ai menés avec Drew Shindell, du NASA-GISS, sur la modélisation des réactions chimiques dans l'atmosphère, ont confirmé que ce scénario restait le meilleur candidat,



DANS LA RÉGION DE VERCELLI, DANS LE PIÉMONT ITALIEN, les rizières sont sous haute surveillance : des appareils mesurent les émissions de méthane.

© DINO FRACCHIA/REA

même si le mécanisme déclencheur demeure inconnu [9]. Des idées similaires ont été proposées pour expliquer d'autres épisodes soudains au Jurassique (entre -150 et -200 millions d'années), à la limite Permien-Trias (vers -245 millions d'années) et au Néo-Protérozoïque (aux environs de -600 millions d'années). Mais les preuves d'un rôle exclusif du méthane dans ces événements sont bien plus faibles que celles concernant la limite Paléocène-Éocène.

Relâchements massifs

Les hydrates de méthane ont-ils joué un rôle dans les changements climatiques plus récents? Il existe quelques indices très troublants enregistrés au cours de la dernière période glaciaire, entre -80 000 et -20 000 ans: dans des sédiments océaniques, au large de la Californie, Kai-Uwe Hinrichs et ses collègues du Woods Hole ont récemment découvert les traces géochimiques de plusieurs épisodes de dégazage de méthane par déstabilisation des clathrates [10]. Ces relâchements de gaz coïncident avec des épisodes de réchauffement très rapides (environ 10 degrés supplémentaires en moins de cent ans!), détectés dans les enregistrements climatiques des carottes de glace du Groenland. Pour certains, les rapports isotopiques du carbone exhibent des pics qui rappellent ceux de la transition Paléocène-Éocène, mais de plus faible amplitude. Toutes ces observations ont conduit Jim Kennett à proposer un nouveau scénario, connu sous le nom d'hypothèse du «clathrate gun». Selon celle-ci, les clathrates se forment pendant les périodes froides et enferment le méthane; quand la température croît, ils le relâchent de façon explosive. Ce dégazage massif accélère et

[9] G.A. Schmidt et D.T. Shindell, *Palaeoceanography*, 18, 1004, 2003.

[10] K.-U. Hinrichs et al., *Science*, 299, 1214, 2003.

L'homme et le méthane

QUAND L'ACTION DES HOMMES SUR LE CLIMAT A-T-ELLE DÉBUTÉ? William Ruddiman, de l'université de Virginie, a lancé récemment un nouveau débat [1]. Selon lui, l'influence de l'homme sur le méthane atmosphérique a commencé bien avant la période industrielle: les débuts de l'extension de l'agriculture, et particulièrement de la culture du riz, il y a environ 8000 ans, auraient déclenché l'augmentation des émissions. Ils auraient même empêché une nouvelle entrée en glaciation. Ces conclusions reposent principalement sur la comparaison entre les variations de concentrations de méthane au cours de la période interglaciaire actuelle et celles observées dans les carottes de glace extraites à Vostok, en Antarctique, elles-mêmes corrélées aux variations de la position de la Terre et de son orientation par rapport au Soleil. Or, on pense que ce sont ces dernières qui déclenchent l'entrée en glaciation. L'idée est certainement très intrigante. Cependant, les calculs de ces paramètres dits astronomiques par André Berger, de l'université de Louvain-la-Neuve en Belgique, démontrent que la période

chaude actuelle est finalement assez atypique quand on la compare au passé récent. En fait, il faut remonter jusqu'à -400 000 ans pour retrouver les conditions les plus proches. Et les résultats préliminaires de l'analyse de la carotte d'Epica le confirment: à cette époque, les concentrations semblaient stabilisées autour de 650 parties par milliard, valeur proche de celles observées pour la période préindustrielle. Sachant cela, la comparaison de B. Ruddiman devient difficile à soutenir. Il est vrai qu'il existe une légère augmentation des teneurs en méthane à partir d'environ -5000 ans. Mais on l'attribue en général au développement des principaux grands deltas, à l'embouchure notamment du Nil, du Mississippi, du Niger et de l'Amazone, quand le niveau des océans s'est vraiment stabilisé après la déglaciation. De plus, il est quand même très incertain qu'une population aussi faible et des zones cultivées aussi peu étendues aient conduit à des émissions suffisantes pour marquer une différence notable avant la révolution industrielle. Il faudra donc plus d'arguments quantitatifs pour que cette idée soit pleinement reconnue.

[1] W.E. Ruddiman, *Clim. Change*, 61, 261, 2003.

amplifie le réchauffement. Mais ce scénario est loin de faire l'unanimité. Surtout du fait du décalage entre l'évolution des températures et celle des concentrations de méthane observées par Jeff Severinghaus. De plus, ces dernières ne paraissent pas d'ampleur suffisante pour perturber à ce point l'équilibre radiatif entre le rayonnement reçu et celui émis par la Terre.

À ce scénario on préfère en général l'explication suivante: quand le climat se réchauffe, les précipitations augmentent sous les tropiques. Par conséquent, les émissions de méthane des zones humides tropicales sont aussi amplifiées et renforcent à leur tour le réchauffement. Mais beaucoup d'inconnues subsistent sur le cycle du méthane durant les périodes glaciaires, et il se pourrait bien qu'il faille un jour considérer les clathrates comme un acteur important des changements climatiques rapides.

Cet exemple nous amène à une question plus large: quel rôle joue le méthane, en particulier quel est celui des clathrates, dans le cycle plus général du carbone, l'un des éléments clés dans l'équilibre global de la planète. Pour Jerry Dickens, tous les modèles de cycle du carbone devraient aujourd'hui prendre en compte ce réservoir assurément important. Mais là encore les inconnues restent légion. Quelle est exactement son étendue? Combien de temps faut-il pour le remplir? Qu'arrive-t-il quand ces clathrates, normalement enterrés, se retrouvent en contact avec l'eau des océans? Quel est le rôle des bactéries mangeuses de méthane dans les sédiments? Ces questions, encore considérées comme très ésotériques il n'y a pas si longtemps, sont aujourd'hui au cœur des principaux axes de recherche sur le cycle du carbone.

Croissance stabilisée?

Pour y répondre, les spécialistes travaillent sur plusieurs fronts. Ils améliorent les techniques de mesure des isotopes du carbone dans le méthane prisonnier de la glace pour tenter de distinguer les diverses sources. Les modèles climatiques et de chimie de l'atmosphère sont revus et perfectionnés pour mieux simuler les variations observées dans les carottes de glace. Les chercheurs examinent aussi les conditions chimiques et biologiques des dépôts de clathrates dans l'océan profond. Et ils quantifient avec plus de précision les flux de méthane émis par les tourbières et les zones de dégel du permafrost aux hautes latitudes. Peu à peu, des inconnues se dévoilent.

Qu'en déduire pour l'avenir? Au cours des dernières décennies, le taux de croissance des émissions a beaucoup oscillé. Mais depuis trois ans, elles n'ont pas beaucoup changé. C'est certainement une bonne nouvelle pour qui s'inquiète d'un réchauffement continu lié à l'effet de serre. Mais jusqu'à ce que nous en comprenions vraiment les raisons, rien n'assure que les émissions n'augmenteront pas de nouveau. Pour l'instant, même si les estimations restent entachées d'erreurs assez importantes, la combinaison de plusieurs facteurs semble pouvoir expliquer une grande part de cette variabilité: les variations des émissions dans les zones humides, certes, mais



LES GRANDS DELTAS COMME CELUI DE L'ORD, EN AUSTRALIE, ainsi que les marais, figurent au rang des forts contributeurs: 20% des émissions sont attribuées à l'ensemble des zones humides. Ils sont en outre sensibles aux changements de climat puisqu'ils évoluent au gré des fluctuations du niveau de la mer qui en découlent.

© BERNARD EDMAYER/SPL/COSMOS

aussi le refroidissement lié à l'éruption du mont Pinatubo en 1991, ainsi que l'évolution économique, en particulier celle de l'ancienne Union soviétique, qui ont entraîné une légère diminution des émissions.

Cela dit, nombre de sources liées à l'homme, comme l'irrigation, les mines ou l'agriculture, sont assez simples à contrôler, et ce de façon relativement peu coûteuse. Des efforts vont dans ce sens. Par exemple, en Nouvelle-Zélande, la production du méthane par l'appareil digestif des moutons est la première contribution en termes de gaz à effet de serre. Les agronomes expérimentent donc des changements d'alimentation du bétail pour réduire considérablement ces émissions. De la même façon, des techniques de capture du méthane relâché lors d'explorations minières ou pétrolières fournissent des sources d'énergie plus propres et plus profitables. Les réponses des zones humides et des réservoirs de clathrates aux changements climatiques sont en revanche plus difficiles à prévoir. Mais les recherches actuelles pour réduire les émissions de la plupart de ces sources pourraient permettre, à un horizon relativement court (moins de cinquante ans), une chute importante des concentrations de méthane. Et, en conséquence, un ralentissement considérable des moteurs du réchauffement global.

Le méthane est donc passé au premier rang des gaz à effet de serre dont il faut comprendre les retombées climatiques, mais aussi au premier rang des objectifs rentables pour réduire ces retombées. Si certaines de ces idées ont encore à passer l'examen critique de la communauté des climatologues, une chose est certaine: le méthane n'a pas fini de faire parler de lui. ■■ G. S.

POUR EN SAVOIR PLUS

- R.B. Alley, *The Two-Mile Time Machine*, Princeton University Press, 2000.
- J.P. Kennett, *Methane Hydrates in Quaternary Climate Change: the Clathrate Gun Hypothesis*, AGU, 2002.